

PRE-COMPACTACIÓN COMO HERRAMIENTA PARA MEJORAR LA RELACIÓN RAÍZ/AGUA/AIRE EN HABILITACIÓN DE SUELOS SOMETIDOS A EXTRACCIÓN DE ÁRIDOS

CÁRCAMO, Iván; Oscar SEGUEL; Carlos BENAVIDES; Manuel CASANOVA; Ian HOMER; Ximena LÓPEZ; Julio HABERLAND.

Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Departamento de Ingeniería y Suelos. Casilla 1004. Santiago. ivca20@gmail.com; osequel@uchile.cl

RESUMEN

Con el objeto de recuperar un suelo agrícola disturbado por extracción de arenas subsuperficiales, se realizaron labores de pre-compactación para evaluar el efecto de este manejo sobre algunas propiedades físicas del suelo y el rendimiento de materia seca de un cultivo de arveja. Para esto se utilizó el metro superficial de un Inceptisol totalmente disturbado, y en parcelas de 10 metros de largo por 2 de ancho, se generaron tres niveles de compactación mediante el paso de un rodillo posterior a un evento de lluvia. Junto con los tratamientos, se dejó un testigo, sin compactar. Sobre las parcelas se estableció un cultivo de arveja, la cual fue regada mediante aspersion. Las propiedades de suelo evaluadas correspondieron a la densidad aparente, el contenido de agua, el test de Próctor, la velocidad de infiltración y la resistencia a la penetración, mientras que en el cultivo se evaluó el rendimiento de materia seca. El ensayo consideró cuatro repeticiones distribuidas en bloques completos al azar. Los valores de densidad aparente fluctuaron entre $1,25 \text{ Mg m}^{-3}$ para el testigo y $1,49 \text{ Mg m}^{-3}$ para el tratamiento de máxima compactación. La compactación de terreno presentó un comportamiento similar al test de Próctor, con un ajuste parabólico; bajo una carga externa, la densidad aparente aumenta por efecto del mayor contenido de agua en el suelo, la que actúa como lubricante, pero para una condición cercana a la saturación, el sistema poroso lleno de agua contribuye a disipar las cargas del rodillo, previniendo una compactación excesiva. La resistencia a la penetración alcanza valores máximos de entre 180 a 280 kPa, acorde con las compactaciones generadas, pero se concentra en los 30 cm superficiales, disipándose en profundidad. Los tratamientos de pre-compactación aseguran un buen almacenamiento de agua, aunque el tratamiento de máxima compactación presentó una infiltración acumulada significativamente menor que el resto de los tratamientos. Finalmente, el tratamiento T2, con una densidad aparente de $1,41 \text{ Mg m}^{-3}$, aseguró la mejor relación agua-aire-resistencia mecánica para el cultivo, traduciéndose en los mayores rendimientos de materia seca.

Palabras Clave: Rehabilitación de suelos, densidad aparente, resistencia mecánica.

Introducción.

La extracción de áridos es una actividad que ejerce presión sobre los recursos naturales. Un caso especialmente importante es la extracción de áridos en terrenos de uso agrícola, donde los materiales de interés se encuentran en estratos subsuperficiales, y para su extracción se necesita remover los horizontes superficiales del suelo (capa arable). Este manejo altera las características desarrolladas durante el proceso de pedogénesis, tales como estructura, densidad aparente, capacidad de retención de agua, propiedades de transmisión hidráulica, entre otras. La alteración de estas propiedades, desde el punto de vista agrícola, hace perder una adecuada funcionalidad del suelo como un medio físico para el arraigamiento de los cultivos.

La capacidad de penetración de las raíces y su arraigamiento depende de la porosidad y de la resistencia mecánica del suelo. Estas propiedades muestran una variación espacial asociada a la estructura del suelo, de manera que las raíces se concentran en las zonas del perfil con baja resistencia a la penetración y con una relación aire/agua favorable (Ellies y Ramírez, 1992).

La pre-compactación corresponde a una labor de asentamiento o re-arreglo de las partículas y/o agregados, a través de una carga mecánica en superficie (tensiones externas), sin incurrir en un aumento excesivo de la resistencia mecánica del suelo (Hartge, 1988).

Los diferentes cultivos necesitan en promedio un 10% de porosidad mayor a 50 μm , un tamaño que asegura el movimiento de agua e intercambio gaseoso rápido (Pagliai y Vignozzi, 2002). Sin embargo, una macroporosidad excesiva puede ser contraproducente en sedimentos frescos o en suelos cuya estructura ha sido destruida por la extracción de materiales subsuperficiales. En este caso, disminuye la productividad agrícola al reiniciarse la utilización del suelo (re-cultivación), por cuanto se pierde la capacidad de soporte para el tránsito agrícola (Hartge, 1988) y se genera una infiltración y percolación de agua excesivamente rápidas (Pagliai y Vignozzi, 2002). En suelos de texturas medias a gruesas, la única opción para la re-cultivación (hasta que el suelo se reestructure en forma natural por ganancia de materia orgánica) es una labor de pre-compactación, que asegure un equilibrio entre las fases líquida y sólida, permitiendo la sustentación de la maquinaria agrícola y un desarrollo radical no limitante.

La compactibilidad es la diferencia entre la densidad aparente inicial y la máxima densidad aparente a la cual un suelo puede ser compactado; dicha compactación se logra con una cantidad de energía definida por el contenido de agua en el suelo (Horn y Lebert, 1994). En suelos excesivamente sueltos, el asentamiento natural se genera por las tensiones internas del suelo, por lo que es lento y de baja magnitud. En ocasiones, es necesario realizar una pre-compactación del suelo para alcanzar un óptimo re-arreglo de las partículas.

Una labor de pre-compactación en suelos excesivamente sueltos provoca una disminución de la macroporosidad ($>50 \mu\text{m}$), con un aumento de poros de almacenamiento de agua (Lipiec, 2004). Dependiendo de la magnitud de la pre-compactación, la conductividad hidráulica puede aumentar por un re-arreglo espacial de partículas (Horn, 2003) o disminuir por el colapso del sistema poroso grueso (Horn y Lebert, 1994). En sectores con pendiente, la pre-compactación aumenta el escurrimiento y el riesgo de erosión, pero en suelos arenosos muy permeables podría disminuir la lixiviación de nutrientes (Lipiec, 2004).

Una excesiva compactación provocará un aumento en la densidad aparente y una disminución de la porosidad. Además de reducirse el espacio poroso, cambia la continuidad de éste, ya que se modifica la orientación de los macroporos, desde un patrón vertical a otro horizontal (Ellies y Ramírez, 1992; Horn, 2003).

Una labor de pre-compactación bien realizada favorece la relación de fases para el desarrollo de la fitomasa, lo que se traduce en un aumento de la producción vegetal (Lipiec, 2004; Medvedev, 2004). Además, con esta labor se acelera el asentamiento, lo que incrementa la capacidad de soporte del suelo posterior a la extracción de áridos. Es posible definir un asentamiento óptimo como aquel grado de pre-compactación en el que se logra la mejor relación entre sustentabilidad mecánica y funcionalidad del sistema poroso.

En la presente investigación se plantea que las labores de pre-compactación y la relación que existe entre el contenido de agua y el aumento de la densidad aparente del suelo, generarán un nivel intermedio de asentamiento (óptimo), que favorecerá la relación contenido de agua-aireación-resistencia mecánica para un determinado cultivo. Se busca

así evaluar el efecto de distintos niveles de pre-compactación de suelos re-cultivados sobre algunas propiedades físicas.

Materiales y Métodos.

El estudio se realizó en la Estación Experimental Germán Greve Silva (33° 28' LS- 70° 50' LW) en Santiago, Chile, en un sector con extracción de áridos durante la temporada 2006. El material suelo corresponde a un Inceptisol de la Serie Rinconada lo Vial, de textura areno francosa (81,2% de arena; 8,0% de arcilla) el cual fue removido en su metro superficial y redepositado en forma disturbada, posterior a la extracción de un depósito de arena subsuperficial. Los análisis de laboratorio se realizaron en dependencias de la Facultad de Ciencias Agronómicas de la Universidad de Chile.

Se establecieron parcelas de 10 m de largo por el ancho de trabajo de un tractor de trocha ancha (Ht= 1,8 m), de manera tal de no generar cargas normales extras sobre los sitios a evaluar. Mediante el uso de un rodillo de 1,6 m de ancho y 200 Kg de masa, se aplicaron niveles de pre-compactación a distintos contenidos de agua (distintos tiempos posteriores a un riego inicial por aspersión), luego de lo cual se estableció un cultivo de arveja (*Pisum sativum* L.). Las labores de establecimiento fueron realizadas en forma manual para no generar esfuerzos extras al suelo ajeno al experimento. Se consideró la información climática de la zona para realizar un balance hídrico como criterio de riego.

Cuadro 1. Tratamientos de pre-compactación.

| | |
|----|--|
| T0 | Testigo, suelo sin compactar (post extracción) |
| T1 | Suelo pre-compactado a 1,1 veces la densidad aparente del T0 |
| T2 | Suelo pre-compactado a 1,2 veces la densidad aparente del T0 |
| T3 | Suelo pre-compactado a 1,3 veces la densidad aparente del T0 |

Se definió la presión del rodillo mediante pruebas de terreno que midieron la efectividad de la pasada a distintos contenidos de agua (medición con penetrómetro). Se consideraron cuatro repeticiones por tratamiento, lo que resultó en 16 parcelas de 10 m de largo por el ancho de trabajo del tractor (Ht), distribuidas en bloques completos al azar.

La densidad aparente, la porosidad y la distribución del tamaño de poros fueron evaluadas a profundidades de 0-10 y 20-30 cm; la velocidad de infiltración se midió con un cilindro infiltrómetro por repetición (Bouwer, 1986); la resistencia a la penetración (a profundidades de 5, 15, 30, 50 y 70 cm) se evaluó mediante un penetrómetro de punta cónica (Koolen y Kuipers, 1983) en tres sectores por parcela; y el comportamiento mecánico del suelo se evaluó mediante el test de Próctor (Kézdi, 1980).

La densidad aparente, D_a (Blake y Hartge, 1986) se obtuvo por medio de la extracción de muestras no disturbadas con cilindros. La densidad real, D_r , se midió por el método del picnómetro, resultando en un valor de $2,67 \text{ Mg m}^{-3}$. Con ambos valores se obtuvo la porosidad total, S , mediante la relación $S = 1 - (D_a/D_r)$.

Se utilizó un diseño de bloques completos al azar. Con el establecimiento de las parcelas y el test de Próctor, se obtuvo la dependencia de la densidad aparente con el contenido de agua, la cual se ajustó mediante la ecuación de una parábola invertida ($y = -cx^2 + bx + a$). Como los tratamientos generaron distintos niveles de pre-compactación, se realizaron comparaciones entre tratamientos, y para cada una de las propiedades a estudiar, a través de un análisis de varianza (LSD, $P \leq 0,05$).

Resultados y Discusión.

El criterio para establecer el momento óptimo de compactación se determinó con una curva de desecamiento (Figura 1) realizada en un cilindro de PVC de 200 mm de diámetro y 600 mm de altura. Se determinó el contenido de agua a distintos intervalos de tiempo posterior a un riego simulado de 40 mm.

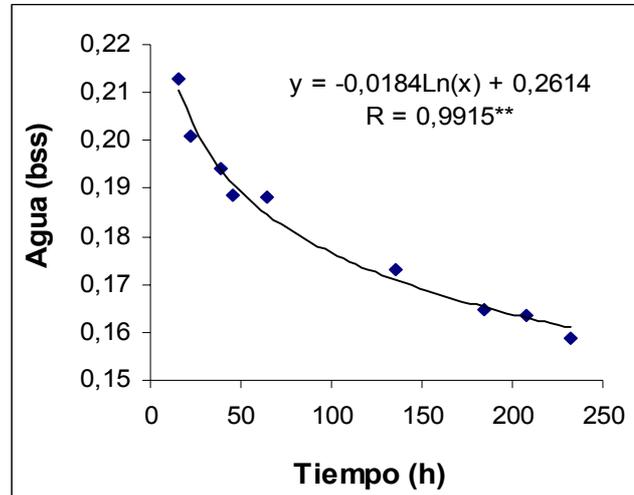


Figura 1. Variación del contenido de agua en el tiempo del material de reposición posterior a la extracción de arenas. Al tiempo 0 se aplicó un riego de 40 mm.

Los momentos de compactación para obtener los distintos tratamientos fueron 0, 24, 100 y 200 horas; salvo en el testigo, en cada tratamiento se realizó una única pasada del rodillo compactador. Posterior a 200 horas el contenido de agua se estabilizó, alcanzando la “capacidad de campo” de terreno, en torno a un 16% base suelo seco. La demora en alcanzar el estado de equilibrio es lógica si se considera la discontinuidad del sistema poroso, como consecuencia de la remoción del suelo, y por la presencia del nivel freático cercano a la superficie. En terreno, esta última condición retrasó aún más la pérdida de agua del suelo, en especial en sectores localmente confinados, por lo que finalmente se debió repetir el paso del rodillo en algunas de las parcelas, con el objeto de obtener la densidad aparente deseada. Sin embargo, la relación entre el contenido de agua con que se pasó el rodillo y la densidad aparente obtenida, presentó el comportamiento esperado (Figura 2).

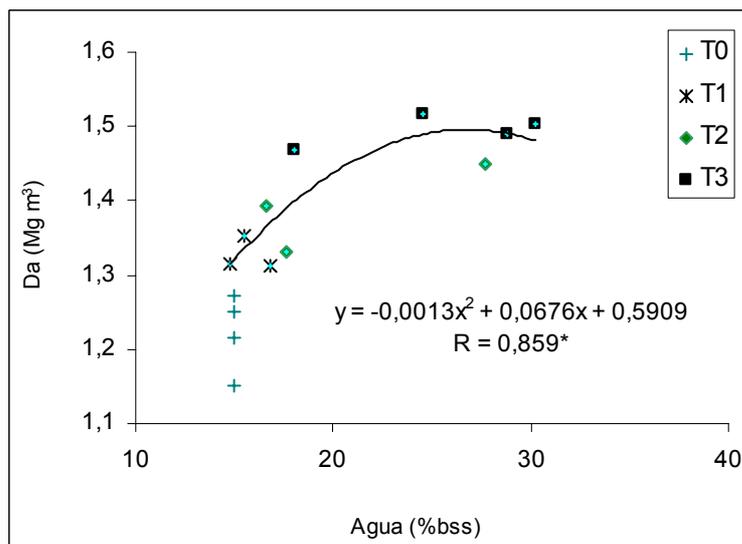


Figura 2. Densidad aparente en función del contenido de agua posterior al paso del rodillo. Se incluye el testigo (T0), sin tratamiento con rodillo.

En la Figura 2, el testigo se colocó sólo como referencia, su contenido de agua no corresponde a 15%. El resto de los tratamientos se ordena en forma de una parábola invertida, ya que al aumentar el contenido de agua, los puntos de contacto entre las partículas se lubrican, haciendo más eficiente el proceso de compactación con rodillo. Sin embargo, se llega a un punto en que el contenido de agua es excesivo, a tal punto que el agua queda confinada en el sistema poroso, sin posibilidad de salir a la velocidad de tránsito del rodillo, por lo que se generan presiones internas en los poros del suelo, los que ayudan a disipar la carga, disminuyendo el efecto compactador del implemento. Los distintos tratamientos se ordenaron en orden creciente de contenido de agua, aunque el valor final de densidad aparente en el T2 se logró tanto por efecto lubricante del agua entre las partículas como por exceso de ésta, participando en el soporte de la tensión normal. A modo de comparación, la Figura 3 presenta el resultado del test de Próctor, estandarizado según norma ASTM (Das, 1997) y realizado con todo el material suelo.

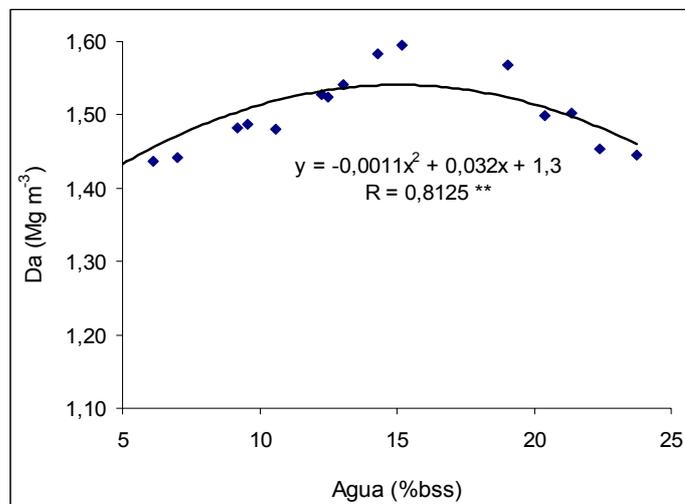


Figura 3. Test de Próctor del material suelo repuesto posterior a la extracción de arena. Resultado promedio de tres repeticiones.

El coeficiente de curvatura, si bien es similar para las dos situaciones (Figuras 2 y 3), es bajo para un material arenoso. Esto se puede deber a que en ambos casos la compactación se realizó sobre un sustrato que presentaba material agregado por sílice y/o carbonato, sin tamizar a dos milímetros, por lo que los flujos de agua entre los distintos pasos de la compactación son más lentos. La pendiente estabilizada de la cola de la parábola es el doble en la prueba de campo respecto al test normado (0,067 v/s 0.032), lo que se traduce en un intercepto, para un contenido de agua cero, menor en la prueba de campo. En terreno se presentó un nivel freático cercano a la superficie, por lo que no fue posible lograr un estado “seco al aire” del suelo. Esto resultó en que los rangos de contenido de agua son mayores en la prueba de campo, obteniéndose valores de densidad aparente menores respecto al test de Próctor. Ambos resultados (prueba de campo con intercepto menor y rangos de agua mayores con densidades aparente menores) son lógicos si se considera que el test de Próctor aplica una mayor energía a través de una carga dinámica que golpea el suelo, respecto al rodillo en terreno, que si bien es una carga dinámica, ejerce un efecto sólo por el tránsito, ejerciendo una menor presión respecto al martillo Próctor. Lo interesante es que para dos condiciones de compactación totalmente distinta (tránsito con rodillo en una curva de desecamiento y golpeteo en una curva de humedecimiento) se obtiene un comportamiento similar en el suelo, presentando la prueba de terreno el comportamiento de un material más fino o desagregado. Finalmente la Figura 4 presenta el test normado para un material suelo inferior a 2 mm.

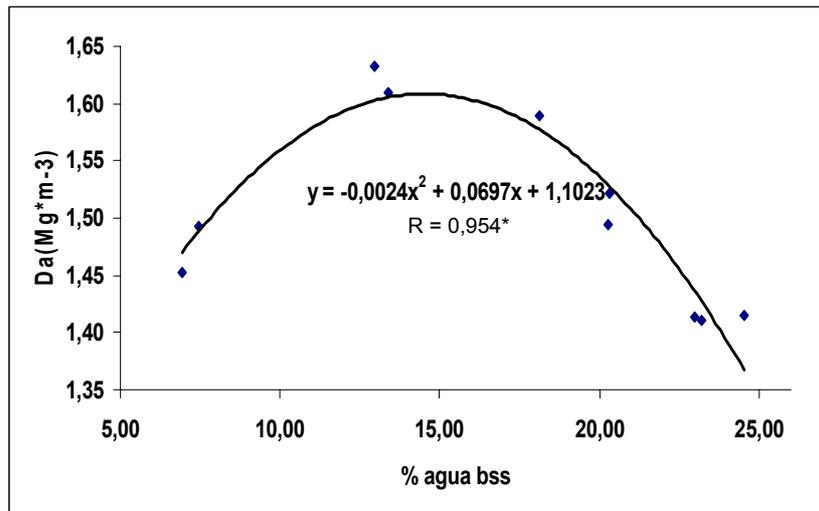


Figura 4. Test de Próctor del material suelo repuesto posterior a la extracción de arena, tamizado a 2mm. Resultado promedio de tres repeticiones.

Siguiendo con las comparaciones, existe un comportamiento bastante contrastante entre el Próctor realizado con un material de suelo repuesto sin tamizar (Figura 3), comparado con el realizado a un material tamizado a 2 mm, presentando diferencias en los máximos encontrados entre uno y otro test. En el test realizado al material tamizado se encontraron puntos de la curva que sobrepasaron la magnitud de $1,6 \text{ Mg}\cdot\text{m}^{-3}$ de densidad aparente, además se presenta una mayor concavidad de la parábola invertida (Figura 4). La explicación para esto se encuentra en la eliminación de material agregado por sílice y/o carbonato (fragipán), que genera un efecto amortiguador de las cargas aplicadas al suelo. Por otra parte, los trozos de fragipán poseen una humectación más lenta, provocando así núcleos de fricción mayor, los cuales son eliminados al tamizar el material a 2 mm.

En campo los trozos de fragipán están repartidos al azar en todo el volumen de suelo estudiado. Tomando en consideración lo anteriormente encontrado, se podría también atribuir a este hecho la baja densidad aparente alcanzada en la prueba de campo.

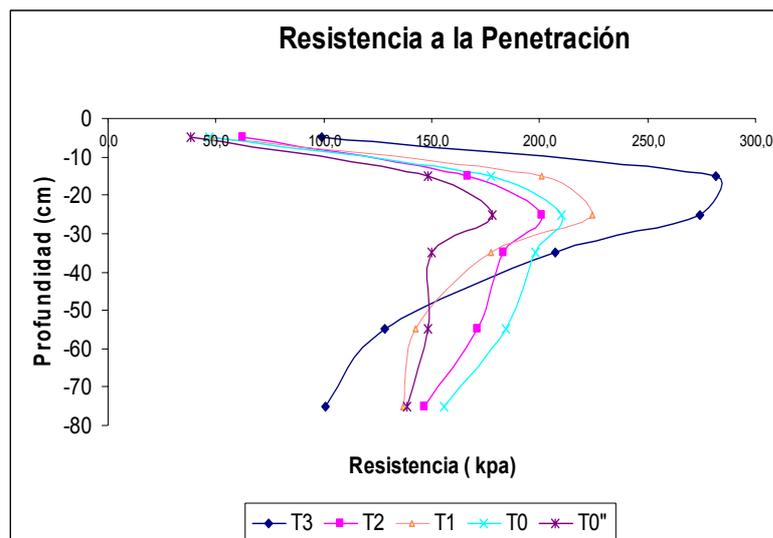


Figura 5. Resistencia a la penetración. Comparación entre los distintos tratamientos, se incluye T0''.

La resistencia a la penetración nos entrega una caracterización de los cambios morfológicos y mecánicos que se experimentó en cada uno de los tratamientos. La mayor resistencia se generó en el T3, donde además se obtuvieron los mayores valores de densidad aparente,

ambos parámetros reflejo de la mayor compactación. La menor resistencia debiese estar en el tratamiento testigo (T0), pero se encontró que utilizando todas las parcelas testigos, el tratamiento T0 presentó una resistencia promedio por sobre T2, teniendo éste incluso una mayor D_a que el testigo. Esta diferencia en la resistencia a la penetración del testigo está sobrevalorada por parcelas identificadas en el bloque III de los ensayos; a estas parcelas se les hizo un trabajo adicional después de su reposición inicial, debido a una imperfección en la zona, que debió ser rellenada con material; este evento pudo generar cargas extras en la parcela, lo que provocó una mayor resistencia. Por esta razón se presenta T0", al cual se le eliminó las dos parcelas T0 del Bloque III.

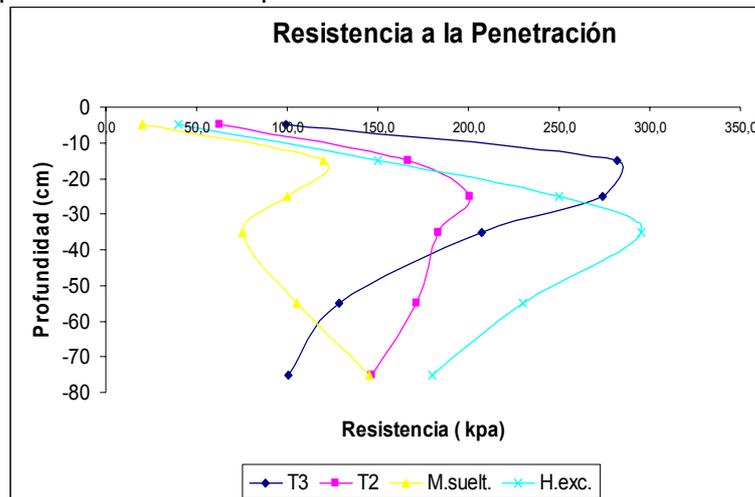


Figura 6. Resistencia a la penetración. Comparación entre los tratamientos con mayor y menor resistencia, comparados con material recién esparcido y la huella de excavadora.

Al comparar los tratamientos con la huella de la excavadora y con el material recién repuesto, nos grafica claramente la situación inicial, en la que el suelo presenta un muy bajo soporte para una actividad productiva. El impacto que genera la excavadora sobre el suelo se asemeja mucho a la compactación realizada para el tratamiento T3, alcanzando un máximo muy similar, aunque su influencia en profundidad es mayor.

Las diferencias en la densidad aparente, además de tener influencia en la resistencia a la penetración, también influye sobre la distribución de poros, diferencias estructurales, y ambos tienen influencia en el espacio poroso, el cual va a determinar diferencias en el almacenamiento del agua. Para ejemplificar este fenómeno, se midió el contenido de agua del suelo (0-10 cm) 24 horas después de una lluvia de 20 mm aproximadamente (Figura 7).

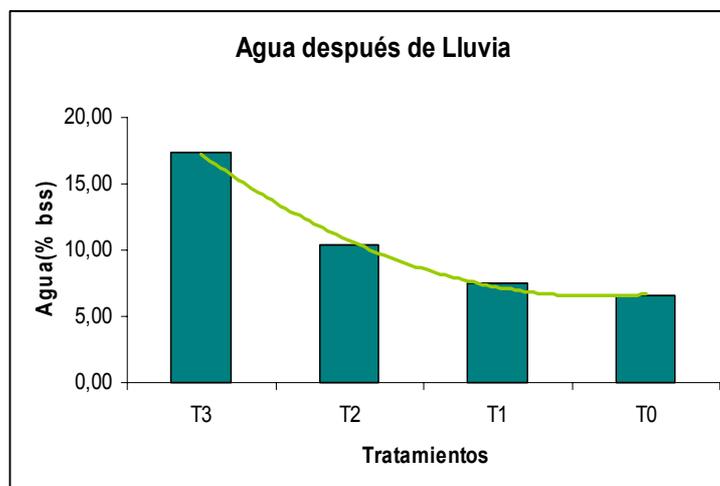


Figura 7. Contenido de agua (base suelo seco) en los tratamientos, 24 hrs. después de una lluvia.

Se presenta un mayor almacenamiento y retención de agua en T3 y T2, que corresponden a los tratamientos con un mayor grado de compactación, por ende poseen un mayor porcentaje de poros de almacenamiento que los tratamientos más sueltos. En la Figura 8 se presenta la relación entre la densidad aparente y el contenido de agua del suelo, para el evento de lluvia de la Figura 7.

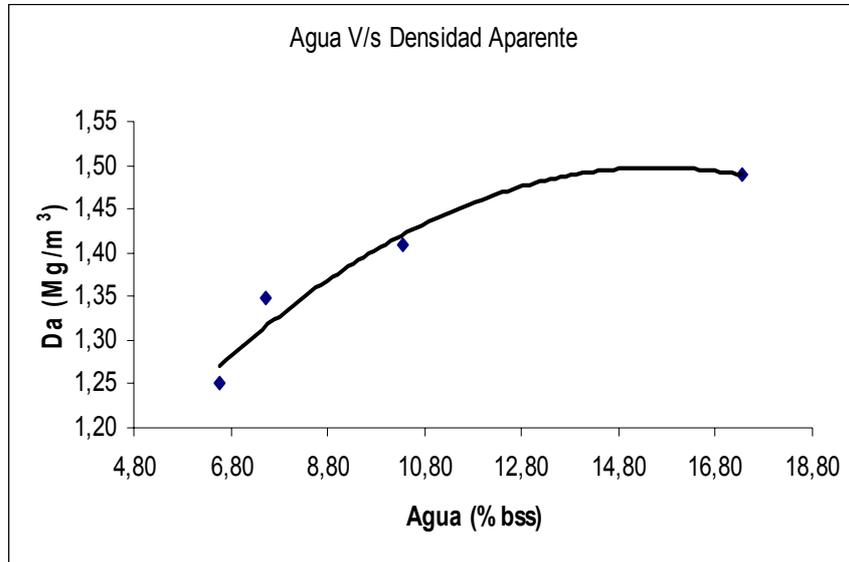


Figura 8. Contenido de agua en los tratamientos, 24 hrs. después de una lluvia, relacionados con Da. Muestras de 0-10 cm.

El movimiento del agua en el suelo se relaciona íntimamente con el tamaño y distribución de poros y además con el grado de estructura que éste posea. La Figura 9 presenta los resultados de infiltración acumulada, realizada mediante la prueba del cilindro infiltrómetro.

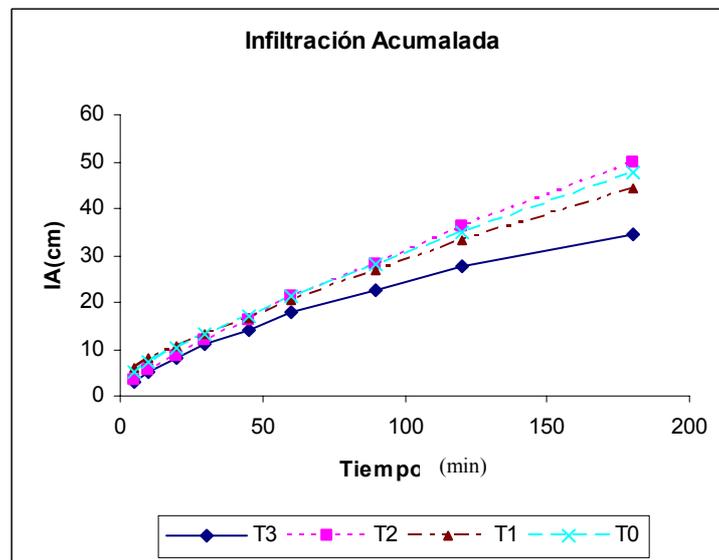


Figura 9. Infiltración Acumulada. Comparación entre tratamientos.

El tratamiento T3 es el que posee una menor infiltración acumulada, esto se explica por el hecho de ser el más compactado, en que el espacio poroso más grueso (> 50mm), se ha disminuido, y con ello también el tránsito de fluidos dentro del perfil, las diferencias entre los demás tratamientos son menos marcadas, aunque T2 sigue comportándose como un suelo menos compactado que T1 y T0. Las velocidades estabilizadas, en todo caso, aseguran una

adecuada infiltración del agua en el suelo, a tasas suficientes para prevenir el escurrimiento superficial durante eventos de lluvia intensos. En este sentido, la pre-compactación de un suelo de texturas gruesas mejoraría la distribución de poros, sin afectar en forma severa el movimiento del agua.

La relación que existe entre la densidad aparente y el rendimiento de materia seca del cultivo de arveja se asemeja a una parábola invertida (Cuadro 2). El testigo (T0), al presentar la mayor soltura, no favorece una óptima relación agua-aire para el cultivo (por exceso de aireación y drenaje excesivo), por lo que éste no desarrolló todo su potencial productivo. El caso contrario, poseer una mayor consolidación, también es contraproducente para el cultivo, ya que éste se ve imposibilitado de desarrollar su sistema radical (debido a la mayor resistencia mecánica) y por ende no puede asimilar todos los nutrientes del medio.

El máximo de la curva de producción se encuentra cuando la relación entre el aire y el agua del suelo son óptimos para el crecimiento del cultivo, lo que se encuentra alrededor del tratamiento T2 (Figura 10).

Cuadro 2. Rendimiento y densidad aparente de los tratamientos.

| Tratamiento | Da (Mg m ⁻³) | Rendimiento (Tn ha ⁻¹) |
|-------------|-----------------------------|---------------------------------------|
| T3 | 1,49 | 0,8 |
| T2 | 1,41 | 1,6 |
| T1 | 1,35 | 1,1 |
| T0 | 1,25 | 0,9 |

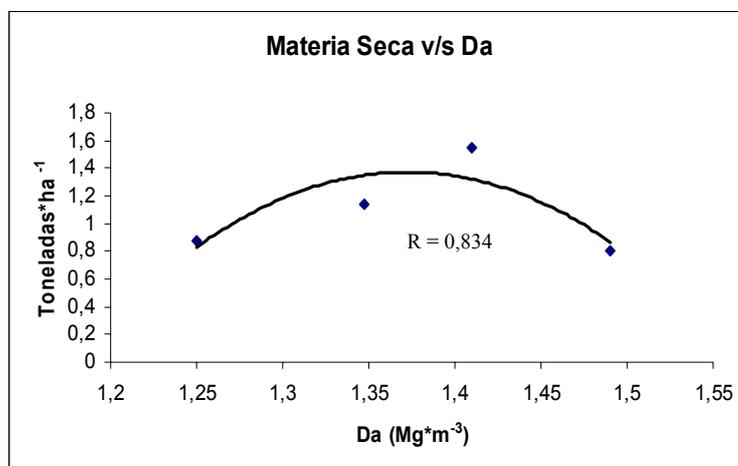


Figura 10. Materia seca v/s densidad aparente. Comparación entre tratamientos.

Conclusiones.

La pre-compactación de suelos se presenta como una herramienta útil para mejorar la relación agua-aire-capacidad de soporte para los cultivos agrícolas. En el presente estudio, la pre-compactación de un suelo arenoso francoso, posterior a la disturbación del metro superior por extracción de arena subsuperficial, incrementó la capacidad de soporte, evaluada como resistencia a la penetración, y mejoró la retención y distribución del agua del suelo. La condición óptima se obtuvo al pre-compactar el suelo a un valor de densidad aparente de 1,4 Mg m⁻³, lo que se tradujo en el máximo rendimiento de materia seca de un cultivo de arveja.

Bibliografía.

BLAKE, G.; HARTGE, K. 1986. Bulk density, pp: 363-375. *In* : Klute, A (Ed.) Methods of soil analysis. 2ª ed. And SSSA. Madison WI. V.1. 1.188 p.

BOUWER, H. 1986. Intake rate: Cylinder infiltrometer. pp: 825-844. *In*: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. 2ª ed. ASA and SSSA, Madison WI. v.1. 1188 p.

DAS, B. M. 1997. Soil mechanics laboratory manual. Fifth Edition. Engineering Press. Austin, Texas, USA. 278 p.

ELLIES, A.; ÁLVAREZ, I. 1985. Economía del agua en el periodo estival para pradera, maíz forrajero y col forrajero en un Tipic Dystrandept de Valdivia. *Agro Sur* 13(1): 39-50.

ELLIES, A.; RAMÍREZ, C. 1992. Efecto de la compactación de suelos volcánicos sobre el crecimiento de *Lolium multiflorum* y *Lolium pratense*. *Agricultura Técnica* 52: 450-455.

HARTGE, K. H. 1988. The reference base for compaction base for compaction state of soils. pp: 73-77. *In*: J Drescher, R. Horn and M. de Boodt (Eds). Impact of water and external forces on soil structure. 171 p.

HORN, R. 2003. Stress-strain effects in structured unsaturated soils on coupled mechanical and hydraulic processes. *Geodema* 116: 77-88.

HORN, R.; M, LEBERT. 1994. Soil compactability and compressibility. pp: 45-69. *In*: B.D Soane and C. van Ouwerkerk (Eds). Soil compaction in crop production. 341 p.

KEZDI, A. 1980. Handbook of soil Mechanics. Vol. 2. Soil testing. Elsevier, Amsterdam. The Netherlands. 258 p.

KLUTE, A. 1986. Water retention: Laboratory methods. pp: 635-662. *In*: Klute, A. (ed.). Methods of soil analysis. 2ª ed. ASA and SSSA, Madison WI. v.1. 1188 p.

KOOLEN, A. J., KUIPERS, H. 1983. Agricultural soil mechanics. Advanced Series in Agricultural Sciences 13. Springer-Verlag. Berlin, Germany. 241 p.

LIPIEC, J. 2004. Compaction effect on soil physical properties and root and shoot growth. pp: 124-133. *In*: Glinsky, J, Jozefacink, G, Stahr, K (Eds). Soil-plant-atmosphere aeration and enviromental problems.

MEDVEDEV, V. 2004. Soil compaction as a factor of soil productivity and ecological functions in the Ukraine. pp: 95-102. *In*: Lipiec, J., Walczak, R., Jozefacink, G. (Eds.) Plant growth in relation to soil physical conditions. PAN, Stuttgart. Germany.

PAGLIAI, M.; VIGNOZZI, N. 2002. The soil pore systems as an indicator of soil quality. pp: 71-82. *In*: Pagliai and Jones (Eds). Sustainable land management environmental protection.

SADZAWKA, A.; CARRASCO, M.A.; GREZ, R. 2004. Métodos de Análisis recomendados para los suelos Chilenos. CNA, Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. 113 p.